УДК 631.895.002.237.553.973

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ГРАНУЛИРОВАНИЯ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОЗЕРНЫХ САПРОПЕЛЕЙ

С.А. Бабенко, О.К. Семакина, К.П. Бокуцова, О.В. Лиханова

Томский политехнический университет
E-mail: SOK@ido.tpu.edu.ru

Разработана технология гранулирования комплексных органо-минеральных удобрений пролонгированного действия на основе озерных сапропелей Томской области. Гранулирование удобрений осуществляли методом окатывания на тарельчатом грануляторе, таблетированием и экструзией. Полученные гранулы обладают достаточной прочностью, позволяющей механизированным способом вносить их в почву, и не слеживаются в процессе хранения.

Плодородие почв и повышение урожайности определяются не только увеличением количества минеральных и органических удобрений, но и рациональным их использованием. В последнее время возрос интерес к сельскохозяйственным культурам, возделываемым интенсивным способом на малых площадях (дачные, приусадебные, фермерские хозяйства). Поэтому используемые удобрения должны иметь широкий ассортимент, а, следовательно, различные химические составы, размер и форму частиц, а также способы и дозы применения [1].

Сапропели представляют собой ценное природное органическое сырье, применяемое в сельском хозяйстве в качестве удобрений. Особенность физического состояния сапропеля (большая влажность, неравномерность гранулометрического состава и др.) не позволяет механизировать введение его в почву, что затрудняет использование этого сырья в сельскохозяйственном производстве.

Более рационально использовать озерные сапропели для получения органо-минеральных удобрений, которые обладают следующими преимуществами:

- полноценность состава (органические вещества, минеральные удобрения, микроэлементы, биологически активные вещества и т.д.);
- высокая механическая прочность гранул, обеспечивающая их транспортабельность;

Таблица 1. *Физико-химические свойства сапропелей*

Место отбора сапропелей	Показатели						
	цвет	влажность, %	зольность, %	плотность, кг/м^3	pH сапропеля	pH водной вытяжки	содержание песка, мас. %
Кирек (карбонатный)	Серо-коричневый	75,3	49,7	1910	8,2	7,7	9...12
Кирек (органо-железистый)	Болотно-серый	86,0	49,4	1730	7,8	7,1	3...5
Яково	Темно-коричневый	93,6	26,4	1470	7,0	7,0	1,0
Чистое	Серо-зеленый	54,6	89,5	1036	6,0	6,0	11,7
Светлое-1	Черный	94,7	14,0	1052	5,0...6,0	6,0	2,6
Светлое-2	Серо-зеленый	83,7	59,7	1057	5,0...6,0	6,0	13,9
Темное	Коричневый	62,7	86,5	1329	6,0	6,0	–
Жарково	Коричневый	75,8	69,5	1208	6,0...7,0	7,0	6,6

– равномерность и длительность действия, исключающая "ожоги" корней растений даже при высоких дозах внесения в почву;
– устранение слеживаемости при хранении;
– удобное внесение в почву механизированным путем, в том числе в виде локального удобрения;
– дополнительная мобилизация ресурсов питательных веществ самой почвы в результате развития вокруг гранул полезных микроорганизмов [2].

В качестве объектов исследования для получения гранул органо-минеральных удобрений взяты сапропели озер Томской области: Яково, Кирек (карбонатный), Кирек (органо-железистый), Жарково, Светлое-1, Светлое-2, Темное и Чистое. Физико-химические свойства исследуемых сапропелей приведены в табл. 1. Плотность сухого сапропеля колеблется от 1208 до 1910 кг/м^3; зольность – от 14,0 до 86,5 %; содержание песка – от 1,0 до 13,9 %; pH сапропеля и водной вытяжки близко к нейтральному значению, повышаясь для карбонатного класса (озеро Кирек) соответственно до 8,2 и 7,7.

Минеральная составляющая органо-минеральных гранул была представлена нитратом аммония, являющимся широко распространенным азотным удобрением. Нитрат аммония очень гигроскопичен, особенно при повышенных температурах, и легко расплывается на воздухе. Поэтому он подвержен сильному слеживанию, происходящему в результате дополнительной кристаллизации и перекристаллизации при охлаждении и хранении соли на складах [3].

Перед гранулированием навеску сапропеля высушивали в сушильном шкафу при температуре 105 °С до постоянной массы, измельчали в шаровой мельнице до фракции менее 100 мкм и затем тщательно перемешивали с порошком нитрата аммония в пропорции 10...50 мас. %.

Гранулирование осуществляли следующими методами: окатыванием, экструзией, таблетированием.

Гранулирование окатыванием проводили на грануляторе тарельчатого типа с диаметром тарели 40 и высотой борта 5,7 см. Процесс вели при частоте вращения тарели 28 об/мин с углом наклона 45°. В ходе эксперимента содержание сапропеля меняли от 10 до 50 мас. %. В качестве связующей жидкости использовали воду. Предварительными опытами было найдено оптимальное время окатывания, которое составило 15 мин. Готовые гранулы подвергали сушке в сушильном шкафу при температуре 105 °С. В результате экспериментов получили органо-минеральные гранулы диаметром 1...4 мм. Была установлена зависимость выхода товарной фракции гранул размером 1...4 мм от содержания в исходной шихте сапропеля. Максимальный выход таких гранул (70,0...99,9 %) наблюдался при содержании сапропеля 10...20 мас. %. С увеличением содержания сапропеля до 50 мас. % выход гранул товарной фракции снижается до 40 %. Количество связующей жидкости, необходимой для получения гранул, повышается с увеличением в шихте содержания сапропеля. Так, для гранул, содержащих 10...20 мас. % сапропеля, итоговая влажность смеси в процессе гранулирования составляет 23...27 %, а для гранул с долей сапропеля 30...50 мас. % она равна 28...38 %.

При экструзионном способе получения гранул исходную шихту, содержащую 10...50 мас. % сапропеля, подавали сверху на шнек экструдера. Уплотнение и образование гранул происходило при попадании шихты между шнеком и формующей решеткой (толщина решетки 4,5 мм) и продавливании ее через отверстия решетки (диаметр отверстий 5,0 мм). Сформированные гранулы срезали специальным ножом и направляли на сушку. Диаметр полученных экструзией гранул равнялся 5,0 мм, длина – 8...10 мм. Решающее значение на процесс получения гранул экструзией имеет влажность шихты, которая зависит от содержания в ней сапропеля (табл. 2).

Таблица 2. *Оптимальная влажность шихты для получения гранул экструзией*

Содержание сапропеля, мас. %	Влажность шихты, %
20	10,7...11,5
30	11,5...12,3
40	12,3...13,0
50	13,0...13,8

При влажности выше максимальных значений происходит вытеснение воды из формуемой шихты на внутреннюю поверхность гранулятора, что отрицательно сказывается на свойствах гранул или даже делает невозможным их получение. При влажности шихты ниже указанных минимальных значений формуемая масса с трудом продавливается через фильеру, гранулы имеют "ершистую" поверхность и рассыпаются.

Таблетирование проводили на лабораторном гидравлическом прессе в пресс-форме, которая состоит из матрицы, неподвижного нижнего и прессующего верхнего пуансонов. Высота матрицы – 59 мм, диаметр ее канала – 16 мм. Навеску шихты для таблетирования массой 2...3 г, приготовленную из минеральной соли и измельченного сапропеля в воздушно-сухом состоянии в соотношении 1:1, засыпали в канал матрицы пресс-формы. Прессование проводили при давлении от 3 до 11 МПа в течение 1 мин при 20 °С. Сформированные таблетки диаметром 16 мм и высотой 5...7 мм имеют гладкую поверхность.

Физико-механические и физико-химические свойства органо-минеральных гранул определяли по известным методикам [4].

Статическая прочность на раздавливание F_p органо-минеральных удобрений, полученных таблетированием (рис. 1, кривые представлены только для озер Жарково, Кирек и Светлое-1), растет с увеличением давления прессования. По прочностным характеристикам таблетки из шихты с различными сапропелями при давлении прессования 11 МПа можно разделить на группы:

– самое высокое значение F_p наблюдается у таблеток на основе сапропелей озер Жарково, Чистое, Кирек (карбонатный), составляя 2,78...2,95 МПа;
– среднее значение F_p – у таблеток на основе сапропелей озер Кирек (органо-железистый) и Темное, равняясь соответственно 1,79 и 2,33 МПа;
– наиболее низкое значение F_p – у таблеток на основе сапропелей озер Светлое-1 и Светлое-2 (0,94 и 0,58 МПа).

Такой разброс значений прочностных показателей таблеток можно объяснить разным составом и структурой используемых сапропелей.

Влияние доли сапропеля в шихте на прочностные характеристики органо-минеральных удобрений исследовали на гранулах, полученных окатыванием и экструзией (рис. 2). Процесс экструзии обеспечивает более сильное взаимодействие частиц минеральной соли и сапропеля, поэтому с увеличением доли последнего с 20 до 50 мас. % прочность гранул возрастает с 2,0 до 2,4 МПа. У гранул, изготовленных методом окатывания, максимальная прочность наблюдается при содержании сапропеля 10 и 20 мас. %, составляя соответственно 0,74 и 0,79 МПа. Дальнейшее увеличение доли сапропеля в шихте до 40 и 50 мас. % уменьшает прочность гранул до 0,24 МПа [5].

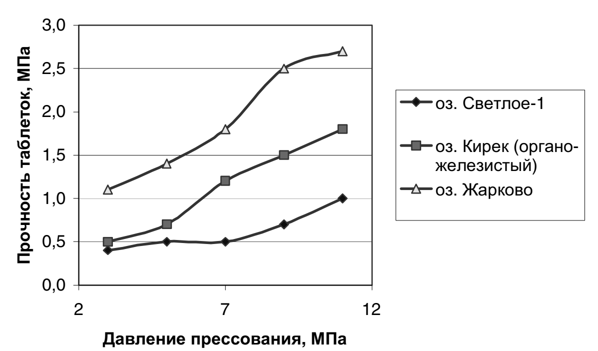


Рис. 1. Зависимость прочности таблеток от давления прессования

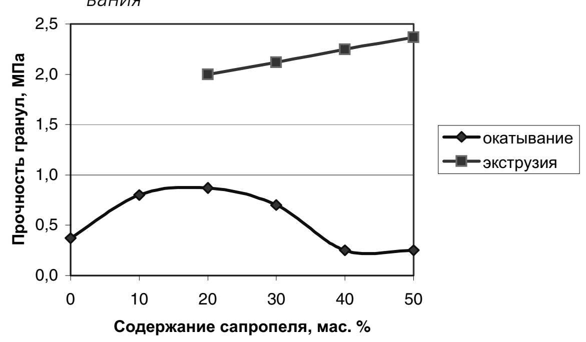


Рис. 2. Зависимость прочности гранул от содержания в них сапропеля

Определенный уровень прочности гранул требуется для снижения слеживаемости удобрений в процессе их транспортировки и хранения насыпью. Так, для неслеживающихся удобрений она должна быть не менее 2,0...2,5 МПа. Для сильно слеживающихся продуктов статическая прочность гранул на раздавливание должна превышать 4 МПа [6]. Результаты наших экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что из сапропелей, смешанных с минеральными удобрениями, методом экструзии и таблетирования можно получать неслеживающиеся органо-минеральные удобрения.

Суммарный объем пор в органо-минеральных гранулах, полученных методом окатывания, возрастает с увеличением в них массы сапропеля. Увеличение объема пор произошло в 1,9 раза при содержании сапропеля 30 мас. % по сравнению с 10 мас. % (рис. 3). Дальнейшее увеличение количества сапропеля в грануле привело к некоторому снижению объема пор с 0,0104 см^3/г при содержании сапропеля 30 мас. % до 0,0100 и 0,0097 см^3/г при доле сапропеля соответственно 40 и 50 мас. %.

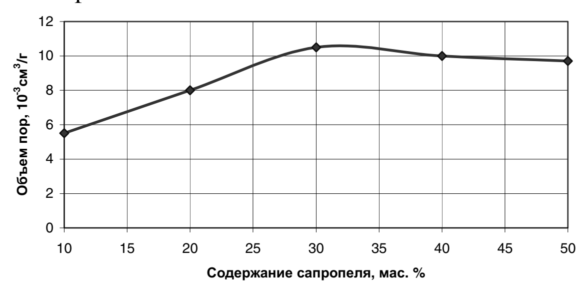


Рис. 3. Зависимость объема пор гранул от содержания сапропеля

Растворимость органо-минеральных гранул, полученных методом окатывания, снижается с увеличением доли сапропеля и составляет 70,3 % при его содержании 10 мас. %, уменьшаясь при 50 мас. % до 40,6 % (рис. 4). Снижение растворимости гранул с увеличением доли сапропеля объясняется тем, что находящийся в них сапропель при соприкосновении с влагой набухает и создает барьер для быстрого вымывания минеральных солей.

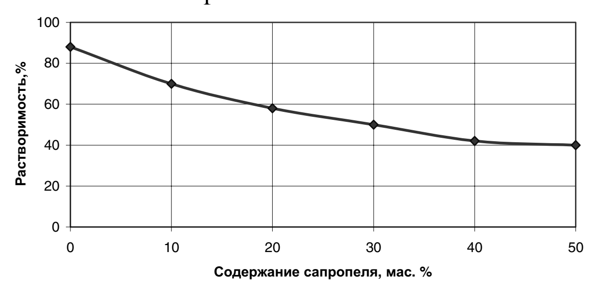


Рис. 4. *Зависимость растворимости гранул от содержания сапропеля*

Органо-минеральные гранулы состоят из двух компонентов – сапропеля и минеральных солей, которые могут быть представлены азотными, фосфорными и калийными удобрениями. После интенсивного перемешивания, грануляции и сушки гранулы удобрений представляют собой твердый гетерогенный комплекс. В композиционной системе роль непрерывной фазы (матрицы) играет сапропель, а дисперсной фазы (наполнителя) – минеральные удобрения. Сапропель, равномерно распределяясь в объеме гранул, образует ячеистый каркас, препятствующий преждевременному вымыванию минеральных веществ из ячеек органической матрицы. Минеральные соли, используемые в качестве источников азотного питания растений, в определенных условиях могут разлагаться с выделением аммиака, активно вступающего во взаимодействие с органическим веществом сапропелей. Образующиеся при этом гуматы аммония характеризуются высокой биологической активностью.

Выполненные исследования позволяют рекомендовать технологию получения органо-минеральных удобрений на основе озерных сапропелей, которая состоит из следующих операций:

- подготовка солевых компонентов, включая их тонкое измельчение;
- подготовка сапропеля, включая его концентрирование, сушку и измельчение;
- тщательное смешение органических и минеральных компонентов;
- гранулирование подготовленной шихты окатыванием, экструзией или таблетированием;
- сушка гранул;
- классификация гранул;
- фасовка товарной продукции.

Предложенная технология защищена патентом РФ [7]. Необходимые сырьевые ресурсы для ее внедрения имеются, включая большие запасы в Томской области сапропелей, в том числе озерных [8], и минеральные удобрения Кузбасса.

Гранулирование органо-минеральных удобрений на основе озерных сапропелей позволяет снизить выщелачивание минеральных солей из гранул в 3,0...3,5 раза, уменьшить гигроскопичность аммиачной селитры в 1,6...1,8 раза, а слеживаемость – в 6...12 раз. Кроме того, сапропель не является балластным веществом в гранулах, а служит дополнительным источником поступления в почву питательных веществ. Причем введение сапропеля в удобрения не требует усложнения и удорожания технологического цикла, а нанесение его на поверхность гранул методом окатывания может быть осуществлено даже в небольших хозяйствах. Сапропель обогащает минеральные удобрения биологически-активными веществами, в том числе микроэлементами, а благодаря содержанию в своем составе азота, фосфора и калия позволяет получать комплексные органо-минеральные удобрения даже на основе односторонних минеральных удобрений.

Предлагаемая технология гранулирования органо-минеральных удобрений на основе озерных сапропелей Томской области позволит в полной мере, в случае ее реализации, насытить рынок высококачественными комплексными органо-минеральными удобрениями пролонгированного действия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчинникова К.Н., Гришаев И.Г., Леонтьева С.И. Создание технологий специальных комплексных удобрений // Химическая промышленность. – 1999. – № 11. – С. 52–54.
2. Бракш Н.А. Сапропелевые отложения и пути их использования. – Рига: Зинатне, 1971. – 282 с.
3. Позин М.Е. Технология минеральных удобрений и солей. – Л.: Госхимиздат, 1957. – 352 с.
4. Ломтадзе В.Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств. – Л.: Недра, 1972. – 312 с.
5. Babenko S.A., Semakina O.K., Djabarova N.K. Production the grained complex manures // KORUS-98: The Second Russian-Korean Intern. Symp. on Science and Technology. – Tomsk, 1998. – P. 103.
6. Кувшинников И.И. Минеральные удобрения и соли. Свойства и способы их улучшения. – М.: Химия, 1987. – 256 с.
7. Пат. 2162832 Россия. МКИ C05C 1/02, D01J 2/30. Способ получения неслеживаемых органо-минеральных удобрений пролонгированного действия / О.К. Семакина, Н.В. Худинова, С.А. Бабенко, К.П. Бокуцова. Заявлено 16.03.1998. Опубл. 10.02.2001, Бюл. № 4. – 8 с.: ил.
8. Бернатонис В.К., Кудашев И.Г., Архипов В.С. и др. Озерные сапропели Томской области // Вестник Томского государственного университета. – 2003. – № 3. – С. 210–215.